

# 根剪措施对欧美 I-107 杨根际土壤 生物学特征的短期影响

李 夏<sup>1,2</sup>

(1. 德州学院 生态与园林建筑学院, 山东 德州 253023; 2. 山东省林业科学研究院, 山东 济南 250014)

**摘 要:** 以 5 年生欧美 I-107 杨为试材, 分析了 6 倍胸径两侧和四侧, 8 倍胸径两侧和四侧, 10 倍胸径两侧和四侧的不同根剪措施对杨树根际土壤生物学特征的影响。结果表明: (1) 同对照相比, 8 倍胸径两侧根剪处理显著增加了根际土壤中有效磷、有机质含量及根系分泌物中氨基酸总量和有机酸总量。并且显著提高了根际土壤中微生物数量和土壤酶活性。其中脲酶、碱性磷酸酶、多酚氧化酶和蔗糖酶活性分别比对照提高了 20.61%, 18.87%, 36.92% 和 22.97%, 但明显降低了有效氮含量和 pH 值; (2) 与 8 倍胸径两侧根剪处理相比, 10 倍胸径两侧和四侧以及 8 倍胸径四侧的根剪处理对杨树根际土壤理化性状及生物学特性的改善作用有所减弱, 但仍明显强于对照, 而 6 倍胸径两侧和四侧根剪处理的影响作用最弱。综合分析认为, 8 倍胸径两侧的根剪措施对杨树根际微生态环境的改善效果最佳。

**关键词:** 欧美 I-107 杨; 根剪; 根际土壤; 生物学特性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)05-0202-06

中图分类号: S153.6

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.05.002

## Short-term Effects of Root Pruning on Biological Characteristics in Rhizosphere Soil of Poplar Clone 107

LI Xia<sup>1,2</sup>

(1. College of Ecology and Garden Architecture, Dezhou University, Dezhou, Shandong 253023, China; 2. Shandong Academy of Forestry, Jinan, Shandong 250014, China)

**Abstract:** The root system of five-year-old *Populus × euramericana* cv. ‘Neva’ were manually pruned with a sharp spade at distances of six, eight and ten times DBH(diameter at breast height) from both two sides or four sides prior to buds break, to analyze the effects of different root pruning treatments on biological characteristics of the rhizosphere soil. The results indicated that: (1) The root pruning treatment of eight times DBH from two sides significantly increased the concentrations of the available P and organic matter in the rhizosphere soil, and increased total amino acids and total organic acids in the root exudates in contrast to the control. At the same time, the microbial populations and enzymes activities in the rhizosphere soil were also enhanced, showing 20.61%, 18.87%, 36.92% and 22.97% increases in the activities of urease, alkaline phosphatase, polyphenol oxidase and invertase enzymes compared to the control, respectively. However, the root pruning treatment of eight times DBH from two sides obviously decreased the available N concentration and pH value in the rhizosphere soil. (2) In comparison with the root pruning treatment of eight times DBH from two sides, the root pruning treatments of eight times DBH from four sides, ten times DBH from two sides, as well as ten times DBH from four sides had less effect on improving physio-chemical and biological characteristics of poplar rhizosphere soil, which were still better than the control. In addition, the root pruning treatments of six times DBH from two sides as well as from four sides had the least effect on the physio-chemical and biological characteristics in the rhizosphere soil among all the treatments. In conclusion, the root pruning was beneficial to the ecological environment of rhizosphere soil at the eight times DBH distance along both inter-row sides.

**Keywords:** *Populus × canadensis* cv. ‘Neva’; root pruning; rhizosphere soil; biological characteristics

收稿日期: 2013-10-12

修回日期: 2013-11-01

资助项目: 山东省农业重大应用技术创新课题“杨树超高产栽培关键技术研究”

作者简介: 李夏(1994—), 女(汉族), 山东省青岛市人, 在读本科学学生, 研究方向为土壤与植物生理生态。E-mail: jingdawei009@163.com。

植物根系是植物体的吸收器官和代谢器官,也是对外界环境条件反应敏感的器官。其赖以生存的土壤条件如土壤水分、养分、温度、通气状况等直接影响根系生长和分布,影响根系吸收功能和代谢功能,进而影响植物地上部分的生长发育和产量<sup>[1]</sup>。杨树(*Populus*)属杨柳科(*Salicaceae*)木本植物,是山东省速生丰产林工程的主要造林树种,其根系是杨树生长的中心。杨树的旁侧根系庞大,随着林木的不断生长,其旁侧根系向四周扩展的范围在不断加大。当杨树林分郁闭后,地下根系便相互交织在一起,而根系盘生极易使杨树形成“小老树”,并且易滋生传播病虫害,从而导致根系生长量降低。此时期的根系逐渐老化,根毛大幅度减少,而林木对养分的吸收主要是以幼小细根为主,因此可能会减弱杨树根系对水分和养分的吸收能力<sup>[2]</sup>。杨守军等<sup>[3]</sup>在冬枣上的研究表明,合理的根剪措施能明显刺激切口处萌发出大量细根,而细根能分泌出大量根系分泌物,不仅明显提高了土壤酶活性和微生物数量,而且提高了养分的有效性和供肥性,从而提高了土壤肥力。那么,郁闭杨树采用根系修剪措施是否也能提高根系的吸收能力,改善林木根系的生态环境,从而改变“小老树”的现状呢?目前在这方面的研究报道还较少。根际是距离根系表面 0—4 mm 的土壤区域,受到植物根系的直接影响<sup>[4]</sup>。有研究表明,根际并不仅仅是细菌之间的相互关系,实际上是受到根系活力影响的一定体积的土

壤,根际的空间范围因土壤结构、微粒尺寸、含水量及土壤缓冲力的不同而不同<sup>[5]</sup>。同时,根际也是各种养分、水分及各种物质进入根系参与物质循环和能量转化的重要场所之一,是与原土体差异较大的特殊土壤微区<sup>[6]</sup>。为此,本试验以欧美 I-107 杨为研究对象,研究了不同的根剪措施对杨树人工林地土壤根际微生态环境的影响,以期能为杨树人工林的高产栽培提供必要的理论依据和技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点与供试材料

试验地点设在山东省济南市北郊林场,地理坐标为北纬 36°40',东经 117°00',属暖温带大陆性季风气候区,四季分明,日照充分,年平均气温 14 °C,年平均降雨量 650~700 mm。供试土壤为潮土,土壤速效氮 19.65 mg/kg,速效 P 14.32 mg/kg,速效 K 45.79 mg/kg,有机质含量为 7.83 g/kg。所用化肥为尿素、磷酸一铵和氯化钾,肥料用量为常规施肥量,相当于 N 205.28 kg/hm<sup>2</sup>,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 70.38 kg/hm<sup>2</sup> 和 K<sub>2</sub>O 58.65 kg/hm<sup>2</sup> 的施肥水平。杨树为 5 年生 I-107 欧美杨人工林,株行距 4 m×3 m,南北行向,林木生长均匀,平均树高 12.75 m,平均胸径 12.36 cm。

### 1.2 试验设计

试验于 2011 年 4 月 22 日进行,共设 7 个处理(表 1),采用随机区组设计,每个处理 30 株树。

表 1 不同根剪措施的设计方案

处理编号	处理内容
CK	不根剪
6-2	6 倍胸径两侧根剪,分别在距树干 6 倍胸径处的东西方向垂直地面向下切断侧根及须根
6-4	6 倍胸径四侧根剪,分别在距树干 6 倍胸径处的东南西北方向垂直地面向下切断侧根及须根
8-2	8 倍胸径两侧根剪,分别在距树干 8 倍胸径处的东西方向垂直地面向下切断侧根及须根
8-4	8 倍胸径四侧根剪,分别在距树干 8 倍胸径处的东南西北方向垂直地面向下切断侧根及须根
10-2	10 倍胸径两侧根剪,分别在距树干 10 倍胸径处的东西方向垂直地面向下切断侧根及须根
10-4	10 倍胸径四侧根剪,分别在距树干 10 倍胸径处的东南西北方向垂直地面向下切断侧根及须根

各处理的施肥量保持一致,其中 CK 处理为避免扰动根系,在距离树体 60 cm 的 4 个方向分别打孔施入,施肥深度为 30 cm,然后再用土壤填满夯实;其他根剪处理是挖一个深度为 30 cm、长度 60 cm 的施肥沟,将肥料和土壤混合均匀,然后再填满夯实沟。此外,根剪时切口要平滑,以利于伤口愈合和须根生长,并在切口处放置一个直径 30 cm 的盆,使根系长出后在盆内生长,利于取样和观测,按大田常规管理。

### 1.3 测定项目与方法

在 2011 年 10 月 16 日参照 Wang 等<sup>[7]</sup>法采集根

际土,然后带回实验室进行相关指标的测定。根系分泌物的提取采用 Klein 等的方法,提取物中氨基酸总量的测定采用甲醛滴定法,总糖的测定采用蒽酮比色法,有机酸的测定分析采用 Agilent HP-1100 series 液相色谱仪;根际土有机质含量的测定采用重铬酸钾法,有效氮测定采用碱解扩散法,有效磷测定采用钼锑抗比色法,有效钾测定采用火焰光度法,Ca, Mg 含量采用 TAS-990 原子吸收分光光度计法测定,pH 值测定采用电位法(水:土=2.5:1);根际土微生物区系分析采用平板稀释法;脲酶的测定采用苯酚钠一次

氯酸钠比色法,碱性磷酸酶的测定采用磷酸苯二钠比色法,多酚氧化酶的测定采用邻苯三酚比色法,蔗糖酶的测定采用  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  滴定法<sup>[8]</sup>。

#### 1.4 数据分析

采用 SPSS 17.0 统计软件进行数据统计,利用 Excel 2007 和 Sigmaplot 10.0 分别进行数据计算和图形制作。

## 2 结果与分析

### 2.1 根剪对根系分泌物含量的影响

在植物的生长过程中,根系不仅从土壤中吸收养分和水分,同时也向生长介质中分泌质子,释放无机离子,溢泌或分泌大量的有机物。这些物质和根组织脱落物一起统称为根系分泌物。根系分泌物的组成和含量的变化是植物响应环境胁迫最直接、最明显的反应<sup>[9]</sup>。杨树根剪处理后根系分泌物中氨基酸总量、有机酸总量和总糖含量的变化如表 2 所示。

由表 2 可见,8-2 处理的氨基酸总量和有机酸总量均是最高,并显著高于其他处理,分别比 CK 提高 37.42% 和 34.81%;其次是 10-2 或 10-4 处理,然后是 8-4 处理,均显著高于 CK,其中有机酸总量分别比 CK 提高 22.80%,13.17% 和 8.02%;而 6-2 和 6-4 处理的氨基酸总量和有机酸总量均低于 CK,但未达到显著性差异。此外,各根剪处理的总糖含量变化范围为 13.05~13.49 mg/kg,并与 CK 均无显著性差异。数据表明,根剪措施对根系分泌物中氨基酸总量和有机酸总量的高低能起到决定性的作用。

### 2.2 根剪对根际土壤养分含量的影响

根际土的养分含量主要取决于当季施肥量,同时也受到微生物的矿化作用和酶促反应的影响。植物

根系周围土壤的养分能被植物直接吸收利用,是物质循环中最活跃的部位<sup>[3]</sup>。由表 3 可见,各处理有效氮含量的变化趋势是:6-4>6-2>CK>10-4>8-4>10-2>8-2,且处理之间的差异均达显著水平。8-2 处理的有效磷含量最高,并显著高于其他处理,其中比 CK 提高 23.30%;依次是 10-2,10-4 和 8-4 处理,分别比 CK 提高 17.48%,10.68% 和 5.83%,差异均达显著性水平;而 6-2 和 6-4 处理显著低于 CK,分别降低 7.12% 和 9.06%。6-4 和 6-2 处理的有效钾含量明显高于 CK,而 10-4,8-2,8-4 和 10-2 处理之间均未达显著性差异,并显著低于 CK。各处理有机质含量的变化规律是:8-2>10-2>8-4>10-4>CK>6-4≈6-2,可知,8-2 处理的有机质含量显著高于其他处理,而 6-2 和 6-4 处理均明显低于 CK。此外,不同根剪处理的 Ca 和 Mg 含量与 CK 均无显著差异,说明根剪对根际土壤中 Ca 和 Mg 含量没有明显的影响。数据显示,不同根剪措施对杨树根际土壤养分含量的影响明显不同,并且同一根剪措施在不同养分之间也表现出迥然不同的变化规律。

表 2 不同根剪处理对根系分泌物含量的影响

处理	氨基酸总量/ ( $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	有机酸总量/ ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	总糖量/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
CK	212.14±3.09e	18.07±0.33e	13.16±0.25a
6-2	207.92±3.56e	17.68±0.29e	13.28±0.31a
6-4	205.84±2.93e	17.61±0.36e	13.09±0.16a
8-2	291.52±5.17a	24.36±0.82a	13.41±0.23a
8-4	233.46±6.08d	19.52±0.43d	13.22±0.29a
10-2	251.07±4.81c	22.19±0.75b	13.49±0.14a
10-4	272.39±4.35b	20.45±0.31c	13.05±0.36a

注:表中数据为平均值±标准差;同列不同小写字母表示处理间差异显著( $p<0.05$ )。下同。

表 3 不同根剪处理对根际土壤养分含量的影响

处理	有效氮含量/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	有效磷含量/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	有效钾含量/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	有机质含量/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	Ca 含量/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	Mg 含量/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
CK	14.39±0.21c	3.09±0.05e	59.05±3.07b	0.85±0.04e	2.95±0.09a	14.62±0.12a
6-2	15.07±0.09b	2.87±0.08f	65.16±2.91a	0.77±0.03f	2.89±0.15a	14.56±0.16a
6-4	15.62±0.15a	2.81±0.04f	68.32±2.36a	0.73±0.02f	2.92±0.08a	14.71±0.09a
8-2	12.27±0.34g	3.81±0.07a	49.68±1.85c	1.26±0.02a	2.85±0.19a	14.49±0.08a
8-4	13.45±0.19e	3.27±0.08d	48.73±2.68c	1.05±0.05c	2.91±0.21a	14.68±0.14a
10-2	12.96±0.24f	3.63±0.12b	48.06±3.14c	1.18±0.03b	2.96±0.05a	14.75±0.09a
10-4	13.91±0.11d	3.42±0.05c	51.24±2.75c	0.94±0.03d	2.81±0.13a	14.52±0.17a

### 2.3 根剪对根际土壤 pH 值的影响

土壤 pH 值是代表与土壤固相处于平衡的土壤溶液中  $\text{H}^+$  浓度的负对数,受土壤内在性质以及外界条件的影响,同时能直接影响土壤养分的存在状态、

转化和有效性,因此对植物的生长发育有直接的影响<sup>[10]</sup>。不同根剪处理对根际土壤 pH 值的影响如图 1 所示。由图 1 可以看出,6-2 和 6-4 处理与 CK 差异不显著,但均显著高于其他处理。依次是 8-4,10-4,

10-2 和 8-2 处理,其中 8-4 和 10-4 处理无显著性差异,而 8-2 处理最低,并与其他处理均达到显著性差异,其中比 CK 降低了 0.87 个单位。由此可见,不同的根剪措施对杨树根际土壤的 pH 值能起到明显的调控作用。

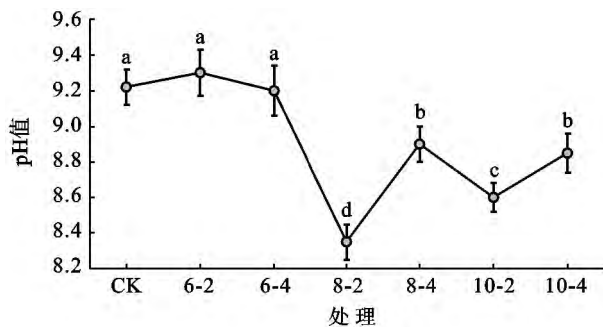


图 1 不同根剪处理对根际土壤 pH 值的影响

#### 2.4 根剪对根际土壤微生物数量的影响

土壤细菌是土壤微生物的主要组成成分,在土壤微生物中数量最多,能分解各种有机物质;放线菌在数量上仅次于细菌,它对土壤中的有机化合物的分解及土壤腐殖质合成起着重要作用;真菌参与土壤有机质的分解与腐殖质的形成,数量上低于其他种类微生物,但在生物量上却占有极其重要的地位<sup>[11]</sup>。从表 4 可知,8-2,10-2,8-4 或 10-4 处理的细菌数和真菌数均显著高于 CK,其中 8-2 处理的细菌数和真菌数均是最高,并显著高于其他处理,分别比 CK 增加 82.79% 和 148.28%;而 6-2 和 6-4 处理的细菌数显著低于 CK,而真菌数显著高于 CK。各处理的放线菌数波动范围较小,均在 12.09~12.35(10<sup>5</sup>/g 干土),且各处理之间均未达到显著性差异。各处理的微生物总量的变化规律与细菌数基本一致:8-2 处理>10-2 处理>8-4 处理>10-4 处理>CK>6-2 处理≈6-4 处理,可见,8-2 处理的微生物总量显著高于其他处理,而 6-2 和 6-4 处理最低,分别比 CK 减少 10.72% 和 12.88%,差异达显著水平。结果表明,不同根剪措施对杨树根际土壤微生物数量具有截然不同的作用效果,其中 8 倍胸径两侧根剪措施的效果最明显。

#### 2.5 根剪对根际土壤酶活性的影响

土壤酶参与了土壤的发生和发育以及土壤肥力的形成和演化的全过程,土壤酶的活性直接影响土壤养分的供应与储存,是土壤生物活性强度的标志之一<sup>[12]</sup>。不同根剪措施对土壤酶活性的影响存在一定差异。从表 5 可见,8-2 处理的脲酶、碱性磷酸酶、多酚氧化酶和蔗糖酶活性均是最高,并显著高于其他处理,分别比 CK 提高 20.61%,18.87%,36.92% 和 22.97%;其次是 10-2 处理,分别比 CK 提高 13.74%,

11.32%,27.69% 和 17.23%;然后是 10-4 或 8-4 处理,均显著高于 CK;而 6-2 和 6-4 处理的脲酶、碱性磷酸酶和多酚氧化酶活性均显著低于 CK,而蔗糖酶活性与 CK 差异不显著,其中 6-4 处理的碱性磷酸酶和多酚氧化酶活性均是最低,分别比 CK 降低 16.04% 和 21.54%。由此可见,根剪措施对杨树根际土壤酶活性具有明显的影响作用,其中 8 倍胸径两侧根剪措施对土壤酶活性的提高幅度最大。

表 4 不同根剪处理对根际土壤微生物数量的影响

处理	微生物数量/(10 <sup>5</sup> 个·g <sup>-1</sup> )			
	细菌	放线菌	真菌	微生物总量
CK	46.95±3.22e	12.09±0.26a	0.29±0.02f	59.33±2.16e
6-2	40.29±2.64f	12.31±0.19a	0.37±0.03e	52.97±3.25f
6-4	39.07±3.09f	12.26±0.15a	0.36±0.03e	51.69±4.02f
8-2	85.82±7.25a	12.35±0.23a	0.72±0.03a	98.89±5.28a
8-4	62.06±3.57c	12.16±0.31a	0.45±0.04d	74.67±3.93c
10-2	69.58±4.96b	12.29±0.45a	0.61±0.04b	82.48±3.05b
10-4	54.13±3.61d	12.18±0.29a	0.54±0.02c	66.85±4.12d

表 5 不同根剪处理对根际土壤酶活性的影响

处理	土壤酶活性/(mg·g <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> )			
	脲酶	碱性磷酸酶	多酚氧化酶	蔗糖酶
CK	1.31±0.03e	1.06±0.03d	0.65±0.02e	3.02±0.07d
6-2	1.24±0.02f	0.97±0.05e	0.59±0.03f	2.95±0.12d
6-4	1.23±0.04f	0.89±0.02f	0.51±0.03g	2.89±0.07d
8-2	1.58±0.02a	1.26±0.03a	0.89±0.04a	3.64±0.08a
8-4	1.42±0.02c	1.12±0.01c	0.70±0.02d	3.29±0.03c
10-2	1.49±0.04b	1.18±0.02b	0.83±0.01b	3.47±0.05b
10-4	1.37±0.01d	1.13±0.01c	0.78±0.02c	3.25±0.09c

### 3 讨论

#### 3.1 根剪与土壤理化性质

根系不但能提供植物生长所需的水肥,而且也能通过对养分的直接吸收和对微生物的间接作用来诱导根际土壤养分组分的改变<sup>[13]</sup>。本研究发现,6-2 和 6-4 处理的有效氮和有效钾含量均是最高,并显著高于其他处理,这可能是由于 6 倍胸径的根剪距离树干较近,对杨树根系造成了较大的伤害,延长了根系的恢复时间,从而导致根系对养分的吸收量急剧减少;而 8-2,8-4,10-2 和 10-4 处理的有效氮和有效钾含量均明显低于对照,可能是因为 8 倍胸径和 10 倍胸径的根剪措施刺激了切口处重新长出大量的侧根和须根,扩大了根系的吸收面积,增强了根系对有效氮和有效钾的吸收,从而使根际土中剩余的有效氮和有效钾含量降低。本试验还得出,除 6-2 和 6-4 处理外,其他根剪处理的有效磷含量均明显高于对照,这一方面是由于根剪促进了碱性磷酸酶活性的提高,另一方面

是由于根系分泌物的增加,增强了对磷的活化作用,因此,虽然切口处的新生根增加了对磷的吸收量,但碱性磷酸酶和根系分泌物的活化作用更占据优势,使更多的缓效态磷变为有效态磷,从而使根际土中有效磷含量仍然升高。

植物的根毛、一次根和二次根在生长期能释放大量的分泌物,是根系分泌物的重要来源<sup>[4]</sup>。本研究中,除 6-2 和 6-4 处理的根系分泌物含量与对照差异不显著外,其他处理的氨基酸总量和有机酸总量均显著高于对照,而 pH 值却明显低于对照,这进一步说明了有机酸总量的升高是 pH 值降低的主要原因。本试验还得出,同对照相比,8-2,8-4,10-2 和 10-4 处理均显著增加了根际土中有机质含量,可能是因为根剪处理后,杨树为了尽快恢复根系的吸收与生长,将同化物大部分运输至根部,使根部具有较多的有机物质,因而有利于提高根部的有机质含量<sup>[14]</sup>。此外,在各个根剪措施中,8-2 处理的有效氮、有效磷、pH 值均是最低,而速效磷、有机质和根系分泌物含量最高,表明 8 倍胸径两侧的根剪措施能使根系的吸收能力显著增强,故对根际土壤理化性状的作用效果最明显。

### 3.2 根剪与土壤微生物数量、酶活性

根际是一个由植物根系、细菌、真菌、放线菌及土壤动物组成的多因素相关联的复杂系统<sup>[15]</sup>。林木根系的生长发育及根系分泌的有机无机化合物是刺激根际微生物繁殖的重要能源和营养源<sup>[16]</sup>。刘久俊等<sup>[17]</sup>的研究表明,3 大类微生物群体中受根系影响最大的是细菌,其次是真菌和放线菌。这一结论在本试验中也得到了进一步的证实:根剪处理显著提高了根际土壤中的细菌数,其次是真菌数,而对放线菌数的影响不明显。这一方面可能是由于根剪刺激了杨树根系的生长,而根系具有很强的合成功能,能够合成氨基酸、有机酸和总糖等;另一方面,根系组织逐渐地死亡和脱落,对周围土壤的理化性质能起到改良作用,并丰富了有机质,这为微生物的大量繁殖创造了一定的条件。这与杨守军等<sup>[3]</sup>在冬枣上的研究结果不一致,这可能与作物种类、根剪强度和根剪时间等因素的差异有关。

根剪后,树木原有的生长平衡受到了破坏,吸收同化能力、营养分配以及激素水平均发生变化,这些因素协同作用,从而影响根系发育<sup>[18]</sup>,而根系及其残体、土壤动物及其遗骸与微生物是土壤酶的主要来源<sup>[19]</sup>。本试验表明,不同的根剪强度对土壤酶活性均具有明显的影响,其中 8-2,8-4,10-2 和 10-4 处理根际土壤的脲酶、碱性磷酸酶、多酚氧化酶和蔗糖酶

活性均显著高于对照,这可能是由于 8 倍和 10 倍胸径的根剪措施更有利于增强切口处细根活性,使根系分泌物含量明显增加,且能促进杨树和土壤微生物的生长,从而有利于土壤酶活性的提高;而 6-2 和 6-4 处理的土壤酶活性基本上都低于对照,主要是因为 6 倍胸径的根剪措施相对来说切掉了更多的根系,对树体的伤害较严重,从而在短时期内对土壤酶活性具有抑制作用。此外,8-2 处理的根际土壤微生物数量和酶活性均显著高于其他处理,可能是因为 8 倍胸径两侧的根剪措施能使切口处萌发的细根最多,根系吸收面积最大,且使根系分泌物含量较高,从而能更好地改善微生物生长的微生态环境,也为土壤酶活性的提高创造了有利条件。本试验还得出,不同根剪措施的根际土壤微生物数量与土壤酶活性呈现基本一致的变化规律,进一步说明了微生物生命代谢活动的加强能够提高土壤酶活性,同时土壤酶活性的提高也促进了土壤中物质转化效率,为微生物提供养分和良好的土壤微生态环境<sup>[20]</sup>。

另外,本试验结果只是反映了不同根剪措施对杨树根际生态环境一年的短期影响,而关于后期多年的作用效果还有待于进一步深入研究。

## 4 结论

8 倍胸径两侧根剪措施显著增加了根际土中有效磷、有机质含量及根系分泌物中氨基酸总量和有机酸总量,并且显著提高了根际土中微生物数量和土壤酶活性,其中细菌数和真菌数分别比对照提高 82.79% 和 148.28%,脲酶、碱性磷酸酶、多酚氧化酶和蔗糖酶活性分别比对照提高 20.61%,18.87%,36.92% 和 22.97%,但明显降低了有效氮含量和 pH 值;与 8 倍胸径两侧根剪措施相比,10 倍胸径两侧、10 倍胸径四侧和 8 倍胸径四侧等根剪措施对杨树根际土壤理化性状及生物学特性的改善作用有所减弱,但仍明显强于对照,而 6 倍胸径两侧和 6 倍胸径四侧根剪措施的影响作用最弱。综合分析认为,8 倍胸径两侧的根剪措施对杨树根际微生态环境的改善效果最佳。

### [参 考 文 献]

- [1] 马秀玲,陆光明,徐祝龄,等. 农林复合系统中林带和作物的根系分布特征[J]. 中国农业大学学报,1997,2(1): 109-116.
- [2] 冯志敏,刘春生,邢尚军,等. 断根和施肥对杨树人工林根际土壤肥力及生物学特性的影响[J]. 水土保持学报,2008,22(6):145-148.
- [3] 杨守军,刘德玺,孙玉波,等. 根剪对冬枣根际土壤理化性

- 状及生物学特性的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 23(5): 215-218.
- [4] Bertin C, Yang Xiaohan, Weston L A. The role of root exudates and allelochemicals in rhizosphere[J]. Plant Soil, 2003, 256(1): 67-83.
- [5] Nye P H. On estimating the uptake of nutrients solubilized near roots or other surfaces[J]. European Journal of Soil Science, 1984, 35(3): 439-445.
- [6] Norton J M. Carbon flow in the rhizosphere of Ponderosa pine seedlings[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1990, 22(4): 149-155.
- [7] Wang Xiaoping, Zabowski D. Nutrient composition of Douglas-fir rhizosphere and bulk soil solutions[J]. Plant Soil, 1998, 200(1): 13-20.
- [8] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [9] 杨守军. 根系调控对枣树(冬枣)生长及代谢影响的效应研究[D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2010.
- [10] 刘方春, 邢尚军, 马海林, 等. PGPR 生物肥对甜樱桃 (*Cerasus pseudocerasus*) 根际土壤生物学特征的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2012, 18(5): 722-727.
- [11] 李潮海, 王小星, 王群, 等. 不同质地土壤玉米根际生物活性研究[J]. 中国农业科学, 2007, 40(2): 412-418.
- [12] 孙瑞莲, 赵秉强, 朱鲁生, 等. 长期定位施肥对土壤酶活性的影响及其调控土壤肥力的作用[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(4): 406-410.
- [13] Drever J I, Vance G F. Role of soil organic acids in mineral weathering process[C]// MPittman E D, Lewan M D. Organic Acids in Geological Process. New York: Springer-Verlag, 1994: 138-161.
- [14] 杨洪强, 接玉玲, 张连忠. 断根和剪枝对盆栽苹果叶片光合蒸腾及 WUE 的影响[J]. 园艺学报, 2002, 29(3): 197-202
- [15] Campbell R, Greaves M P. Anatomy and community structure of the rhizosphere[M]// Lynch J M. The Rhizosphere. Chichester: John Wiley and Sons, 1990: 11-34.
- [16] 侯杰, 叶功富, 张立华, 等. 林木根际土壤研究进展[J]. 防护林科技, 2006(1): 30-33.
- [17] 刘久俊, 方升佐, 谢宝东. 生物覆盖对杨树人工林根际土壤微生物、酶活性及林木生长的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(6): 1204-1210.
- [18] 傅友. 果树根剪控冠技术研究[J]. 园艺学报, 1993, 20(4): 346-352.
- [19] 蒋秋怡, 叶仲节. 杉木根际土壤特性的研究(I): 杉木根际与非根际土壤化学性质的比较[J]. 浙江林学院学报, 1990, 7(2): 122-126.
- [20] 井大炜, 邢尚军, 马海林, 等. 鸡粪与化肥配施对杨树根际土壤生物学特征及养分吸收的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(3): 97-101.

(上接第 201 页)

### 3 结论

生态清洁小流域建设对于保护水资源和土地资源, 改善环境条件、人类生活质量和经济社会条件具有十分重要的意义。北京市生态清洁小流域建设措施分为林木种植等生物类和土木修建等工程类, 本研究利用环境经济学原理, 分析了建设措施的环境效益及其价值, 建立和应用了土地整改、林木生态效益、湿地生态效益、绿花种草效益、污水垃圾处理效益和工程措施效益价值计算模型, 计算了各类措施的效益价值。

在此基础上, 计算分析了北京市昌平区 3 个典型生态清洁小流域建设效益的生态价值和资产价值。结果表明, 生态清洁小流域建设通过生态建设措施和各类水利、水保措施的实施, 明显改善了山区生产和生活条件, 具有重大的生态环境效益。果庄、大石坡 2 个小流域的生态价值都集中在生态修复区, 所占比例依次为 99.99%, 99.42%, 羊台子生态价值的 96.99% 则集中在生态治理区。果庄、羊台子、大石坡 3 个流域的资产价值全部集中于生态治理区, 所占比例依次为 99.67%, 96.16%, 91.89%。

### [参 考 文 献]

- [1] 毕小刚, 杨进怀, 李永贵. 北京市建设生态清洁型小流域的思路与实践[J]. 中国水土保持, 2007(9): 18-20.
- [2] 董仁才, 余丽军. 小流域综合治理效益评价的新思路[J]. 中国水土保持, 2008(11): 22-24.
- [3] 马丰丰, 田育新, 罗佳, 等. 生态清洁小流域评价指标体系的构建[J]. 湖南林业科技, 2010, 37(3): 82-84.
- [4] 李忠魁, 杨进怀, 宋如华, 等. 北京山区水利富民工程的环境价值评估[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 163-167.
- [5] 国家林业局. LY/T 1721—2008 森林生态系统服务功能评估规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [6] 吴岚, 秦富仓, 余新晓, 等. 水土保持林草措施生态服务功能价值化研究[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(9): 20-24.
- [7] 江波, 欧阳志云, 苗鸿, 等. 海河流域湿地生态系统服务功能价值评价[J]. 生态学报, 2011, 31(8): 2236-2244.
- [8] 陈波, 卢山. 杭州西湖风景区绿地生态服务功能价值评估[J]. 浙江大学学报, 2009, 35(6): 686-690.
- [9] 王浩, 尹明万, 秦大庸. 水利建设边际成本与边际效益评价[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 126-127.
- [10] 高云峰, 江文涛. 北京市山区森林资源价值评价[J]. 中国农村经济, 2005(7): 19-29.